УДК 004.89:004.93

А.Л. Жизняков, Д.Г. Привезенцев, Д.Ю. Пажин
Муромский институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
Россия, 602264, Владимирская область, г. Муром, ул. Орловская, д.23

Вычисление фрактальных свойств самоподобия на цифровом изображении*

A.L. Zhiznyakov, D.G. Privezentsev, D.Yu. Pazhin
Murom Institute (branch) of Vladimir State University
Russia, 602264, Vladimir reg., Murom, Orlovskaya st., 23

The calculation of the fractal sings of self-similarity of the digital image

А.Л. Жизняков, Д.Г. Привезенцев, Д.Ю. Пажин
Муромський інститут (філія) федеральної державної бюджетної освітньої установи вищої професійної освіти «Володимирський державний університет імені Олександра Григоровича і Миколи Григоровича Столєтових»
Україна, 83048, м. Донецьк, вул. Артема 118 б

Обчислення фрактальних властивостей самоподібності на цифровому зображенні

В статье рассматривается алгоритм формирования характерных участков цифрового изображения с использованием фрактальной модели. Предлагается подход к обнаружению нехарактерных участков на изображении на основе анализа фрактальных признаков самоподобия.
Ключевые слова: обработка изображений, фрактальная обработка изображений, фрактальные признаки изображений.

The article discusses an algorithm of forming characteristic segments of digital images using the fractal model. An approach to the detection of atypical regions of the image based on the analysis of fractal characteristics of self-similarity is proposed.
Key words: image processing, image processing, fractal, fractal image sings.

У статті розглядається алгоритм формування характерних ділянок цифрового зображення з використанням фрактальної моделі. Пропонується підхід до виявлення нехарактерних ділянок на зображенні на основі аналізу фрактальних ознак.
Ключові слова: обробка зображень, фрактальна обробка зображень, фрактальні ознаки зображень.

Введение

Использование фракталов в цифровой обработке изображений – это новое и перспективное направление, которое развивается благодаря возможности описания изображений с помощью фрактальных характеристик [1], [2]. Фрактальные характе-

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 13-07-00825 а.

ристики изображений инвариантны к масштабу рассмотрения, инварианты к пространственному положению и ориентации объекта на изображении. Они являются локальными характеристиками внутренней структуры объектов.

В настоящий момент разработано большое количество алгоритмов вычисления фрактальных признаков изображений. Однако к вычисляемым признакам относятся только фрактальная размерность и производные от нее признаки, которые характеризуют структурные свойства изображения.

При этом одно из основных свойств фрактала – самоподобие, однако отсутствуют алгоритмы, позволяющие получить его характеристики. В статье предложены алгоритмы оценки данного свойства для цифровых изображений, алгоритмы наглядного представления распределения его по изображению.

Получение характерных участков цифрового изображения с использованием фрактальной модели

Фрактальная модель изображения, описанная в [3-7], позволяет вычислить локальные признаки самоподобия, их проявление и изменение на изображении. Эти признаки показывают, какие участки изображения участвуют в его формировании, т.е. согласно распределению самоподобия внутри изображения можно выявить участки, используя которые, можно воспроизвести изображение с наибольшей точностью.

Можно предположить, что два изображения одного класса описываются одинаковыми участками, и наиболее самоподобные области одного изображения данного класса должны встречаться в других изображениях данного класса.

Целесообразно для формирования самоподобных участков использовать нормированную матрицу $Z^n(x,y)$ (рис. 1):

$$Z^n(x,y) = \frac{1}{\max\limits_{x,y}\left(Z(x,y)\right)} Z(x,y) \quad (1)$$

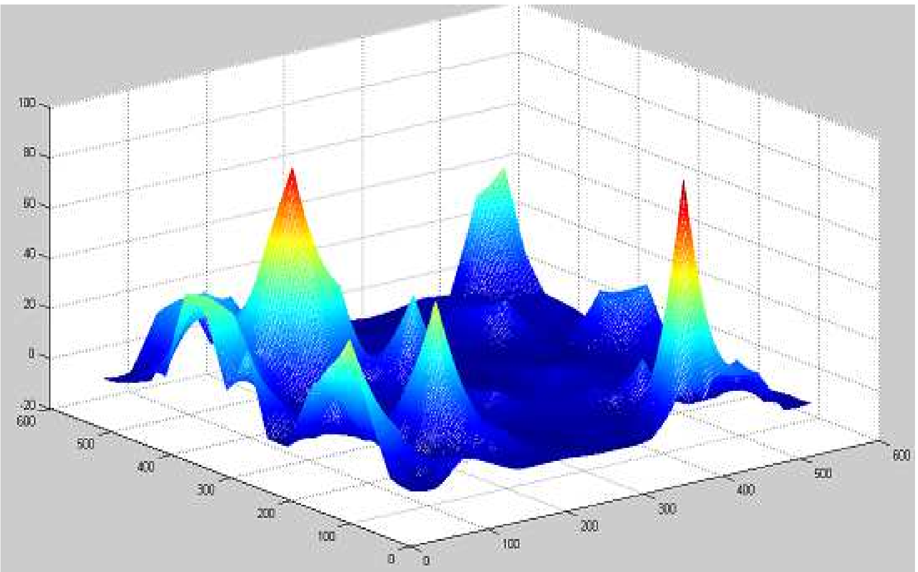
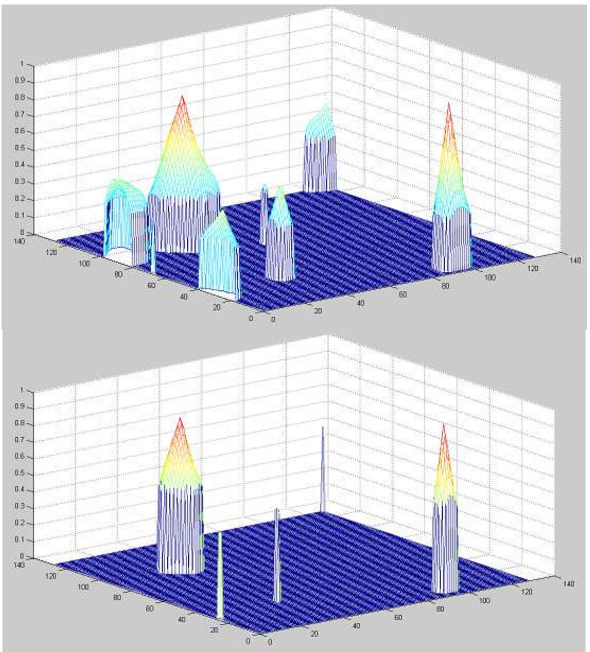


Рисунок 1 – Нормированная поверхность распределения самоподобия на тестовом изображении

При этом участки со значением $Z^n(x, y)$ близким к нулю являются совсем не подобными, а значение $Z^n(x, y)$ близкое к единице означает, что с помощью данного участка можно восстановить все изображение.

Для формирования списка самоподобных участков необходимо произвести пороговую обработку нормированной поверхности $Z^n(x, y)$, при этом получим матрицу самоподобных участков $Z_k^s(x, y)$:

$$Z_k^s(x, y) = \begin{cases} Z^n(x, y), если\, Z^n(x, y) \geq k \\ 0, иначе \end{cases}. \quad (2)$$



а) б)

Рисунок 2 – Трехмерная гистограмма самоподобных участков для коэффициента подобия тестового изображения: а) k = 0,3; б) k = 0,5

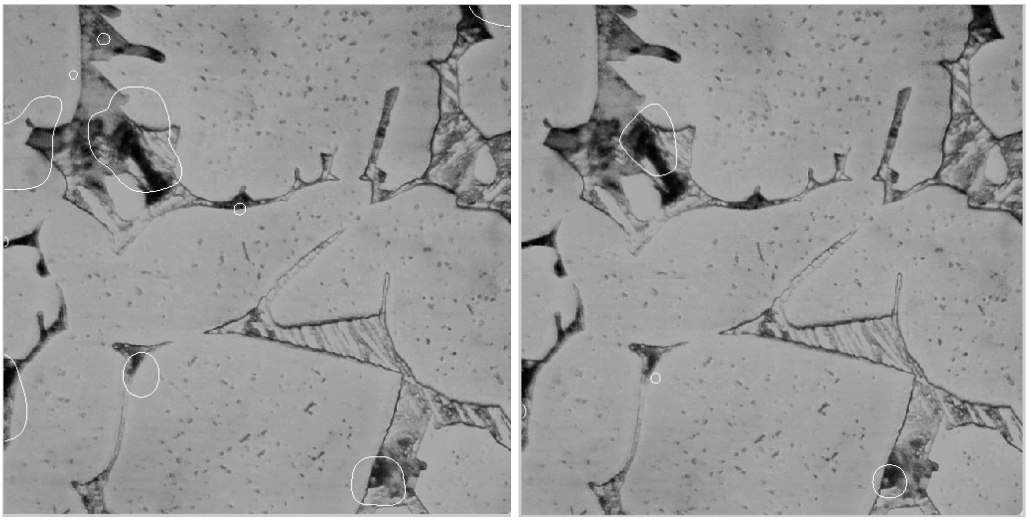
Используя (2), можно получить несколько матриц самоподобных участков $Z = \left\{ Z_k^s \right\}$, в каждой из которых будет содержатся информация об участках со степенью самоподобия k ($0 \leq k \leq 1$) (рис. 2).

Использование характерных участков произвольной формы (рис. 3) имеет ряд недостатков:

– сформированные таким образом характерные участки произвольной формы затруднительно сравнивать между собой.

– ввиду того, что в процессе формирования фрактальных параметров изображения используются прямоугольные участки, целесообразно описывать распределение самоподобия с помощью участков подобной формы.

Исходя из фрактальной модели изображения, можно говорить об участках изображения – доменных блоках – которые наиболее часто встречаются на изображении или с помощью которых можно с наибольшей точностью описать изображение. Здесь наиболее часто используемые доменные блоки являются наиболее характерными участками изображения. Пример характерных участков представлен на рис. 4.



а) б)

Рисунок 3 – Отображение самоподобных участков на тестовом изображении с коэффициентами подобия: а) k = 0,3; б) k = 0,5.

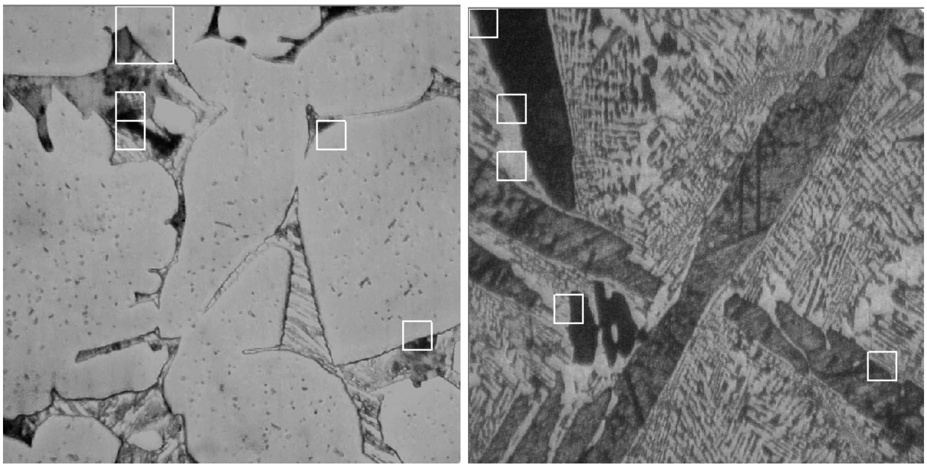


Рисунок 4 – Характерные участки тестовых изображений микроструктур металлов

Алгоритм формирования списка таких участков следующий. Вначале производится вычисление фрактальных параметров изображения с использованием всех доменных блоков. Вычисляется максимальная ошибка аппроксимации ранговых блоков:

$$\varepsilon_{\max} = \max_{R_i} \varepsilon_i . \qquad (3)$$

При вычислении фрактальных параметров с использованием всех доменных блоков ошибка $\varepsilon_{\max}$ является минимальной. Определяется доменный блок, который встречается на изображении максимальное количество раз. Он записывается в список характерных участков и исключается из списка доменных блоков. Затем осуществляется повторное формирование фрактального кода, при этом доменный блок, который встречается на изображении максимальное количество раз, также записывается в список характерных участков. Так как на предыдущей итерации из списка доменных блоков был удален характерный участок, то ошибка описания изображения оставшимися доменными блоками возрастет. Так повторяется до тех пор, пока ошибка опи-

сания не будет значительно выше минимальной. В конечном итоге получается список характерных участков изображения, наиболее точно его описывающих.

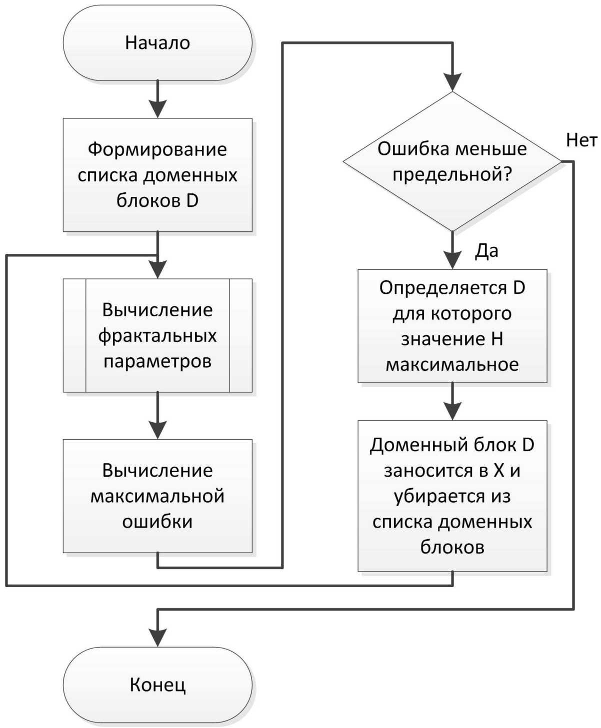


Рисунок 5 – Блок-схема алгоритма формирования характерных участков

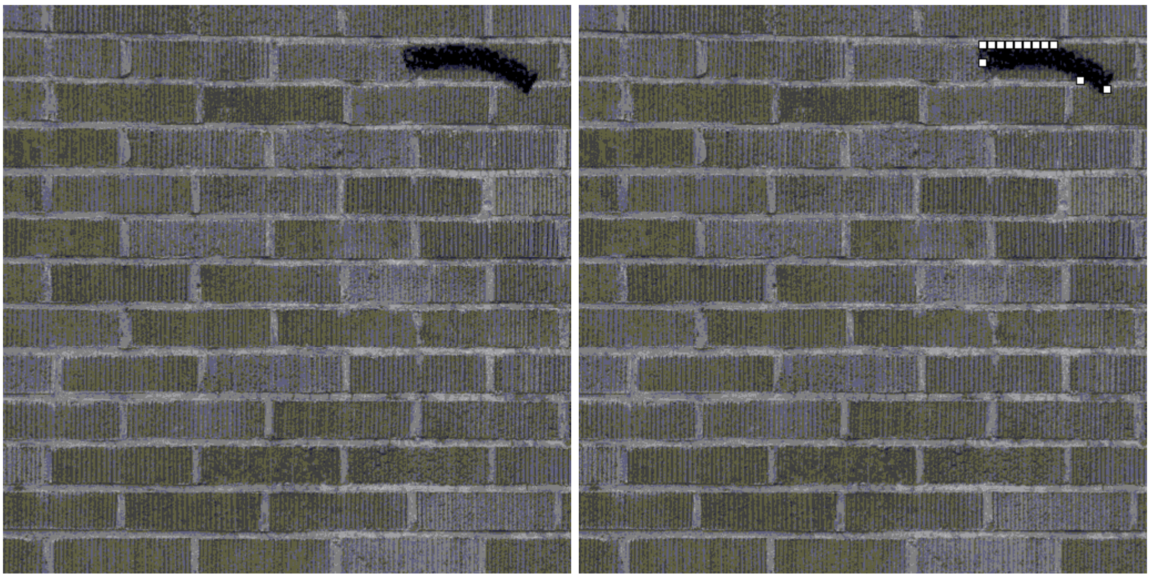


Рисунок 6 – Тестовое изображение с линейным посторонним предметом и обнаруженные участки изображения с повышенной ошибкой аппроксимации

Таким образом, каждое изображение характеризуется вектором характерных участков $\mathbf{X}$. Под характерным участком изображения понимается доменный блок, число раз использования которого во фрактальном коде больше чем значение ξ:

$$\mathbf{X} = \left\{ D_i \middle| H^D(i) \le \xi \right\}. \quad (4)$$

Полученные характерные участки цифрового изображения являются новым фрактальным признаком, который можно использовать в различных задачах цифровой обработки изображений.

Обнаружение нехарактерных участков на изображении на основе анализа характерных участков

Под нехарактерным участком на изображении понимается участок, который не должен присутствовать на данном изображении, например, разлом на изображении микроструктуры металла, посторонний предмет на поле на аэрофотоснимке и т.п. Задача поиска таких участков на изображениях является актуальной в металлографии для поиска дефектов на поверхностях материалов, в радиолокации – для поиска посторонних объектов, в медицине – для обнаружения посторонних тел в крови и других областях, в которых активно применяется обработка изображений.

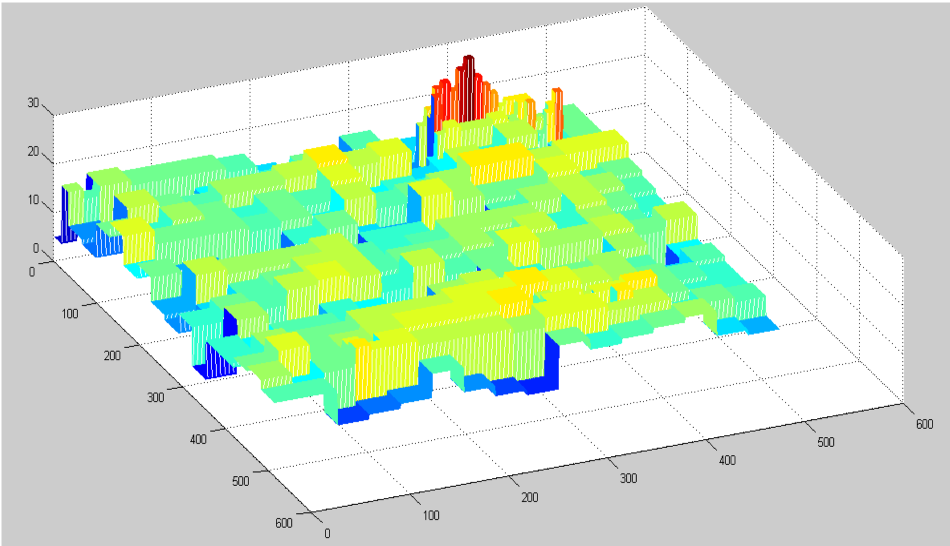


Рисунок 7 – Трехмерная диаграмма ошибок аппроксимации тестового изображения

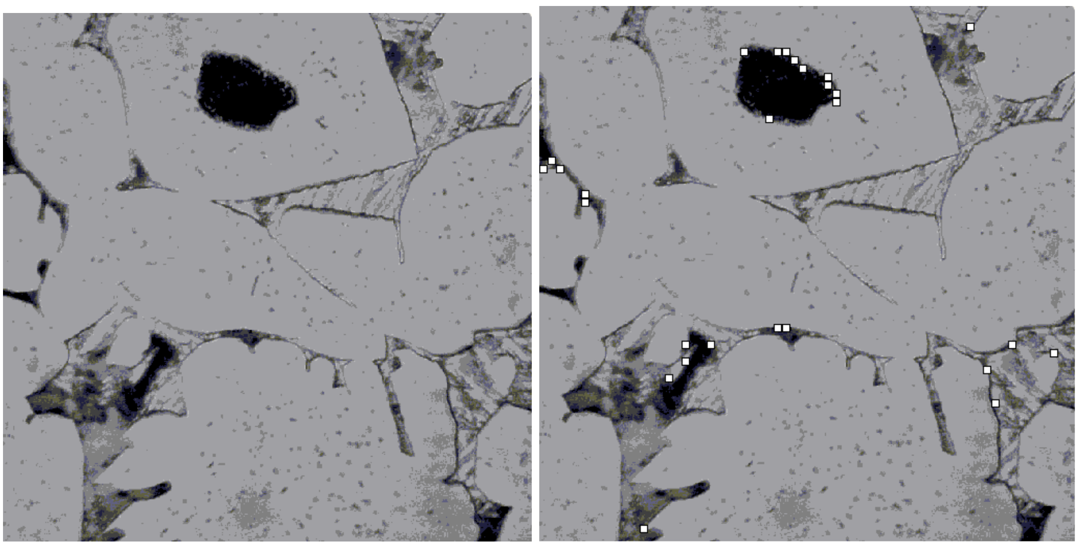


Рисунок 8 – Тестовое изображение с площадным посторонним предметом и обнаруженные участки изображения с повышенной ошибкой аппроксимации

Для обнаружения нехарактерных блоков на изображении осуществляется формирование фрактального кода с помощью списка характерных участков вместо доменных блоков. Фрактальное кодирование из-за использования аппроксимации подразумевает потерю информации, так как существует ошибка аппроксимации ранговых блоков доменными блоками:

$$R_i = w_i(D_j) + \xi_i. \qquad (5)$$

В других задачах этой ошибкой можно пренебречь, в силу того, что используется фрактальный код изображения, без необходимости декодирования. В данной задаче необходимо получить вектор $\{\xi\} = \{\xi_1, \xi_2, ..., \xi_k\},\ k = \overline{1, N_R}$, тогда можно получить двумерную функцию Θ(x,y):

$$\Theta(x, y) = \{\xi_i | (x, y) \in R_i\}. \qquad (6)$$

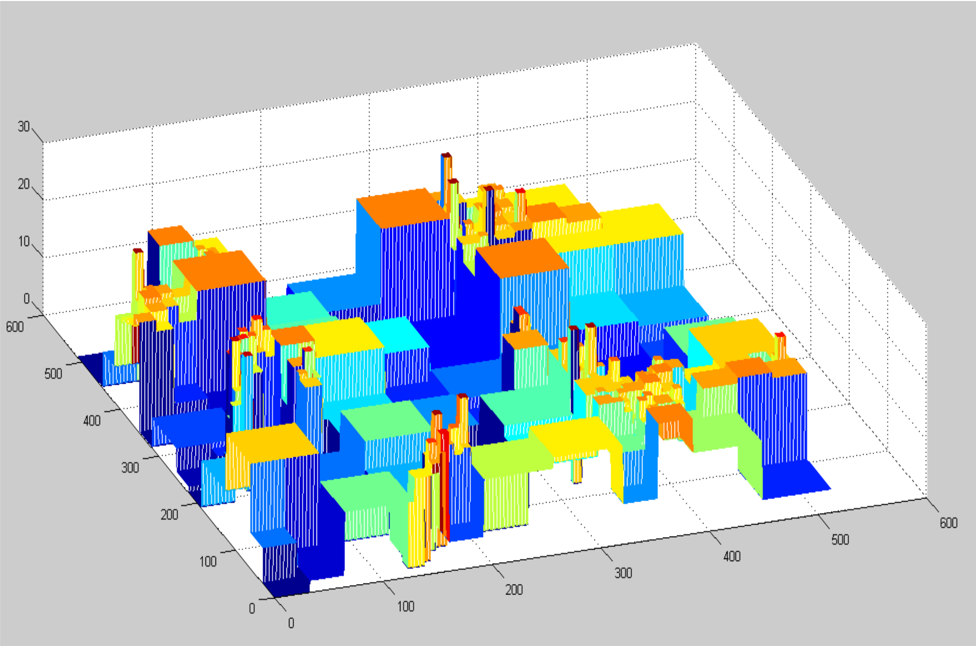


Рисунок 9 – Трехмерная диаграмма ошибок аппроксимации тестового изображения

В результате получается трехмерная диаграмма, показывающая, насколько хорошо каждый блок изображения аппроксимируется характерными участками. Проводя пороговую обработку полученной диаграммы, можно установить наличие и местоположение участков изображения, плохо описывающихся с помощью характерных участков.

Выводы

Таким образом, предлагаются новые фрактальные признаки цифровых изображений – характерные участки. Эти признаки показывают, какие участки изображения участвуют в его формировании, т.е. согласно распределению самоподобия внутри изображения можно выявить участки, используя которые можно воспроизвести изображение с наибольшей точностью. Разработан алгоритм поиска участков изображения, не свойственных данному классу изображений. Алгоритм основывается на том, что нехарактерные участки изображения плохо аппроксимируются характерными участками данного класса изображений.

Литература

1. Новейшие методы обработки изображений. / [под ред. А.А. Потапова]. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 496 с.
2. Уэлстид С. Фракталы и вейвлеты для сжатия изображений в действии : [учебное пособие] / Уэлстид С. – М. : Триумф, 2003. – 320 с.: ил.
3. Привезенцев Д.Г. Модель цифрового изображения с использованием систем итерируемых функций / Д.Г. Привезенцев // Информационные технологии моделирования и управления. – 2010. – № 6 (65) – С. 761-769.
4. Привезенцев Д.Г. Фрактальная модель цифрового изображения / Д.Г. Привезенцев, А.Л. Жизняков // Алгоритмы, методы и системы обработки данных : сборник научных трудов. – Издательско-полиграфический центр МИ ВЛГУ. – 2010. – Вып. 15. – С.147-152.
5. Привезенцев Д.Г. Распределение самоподобия на цифровом изображении / Д.Г. Привезенцев, А.Л. Жизняков // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – Изд-во ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики». – 2012. – № 2. – С. 37-32.
6. Привезенцев Д.Г. Выделение локальных признаков самоподобия цифрового изображения / Д.Г. Привезенцев, А.Л. Жизняков // Методы и устройства передачи и обработки информации. – Издательско-полиграфический центр ВлГУ. – 2010. – № 12. – С. 54-58.
7. Жизняков А.Л. Классификация изображений на основе локальных признаков самоподобия / А.Л. Жизняков, Д.Г. Привезенцев, А.А. Фомин // Ползуновский вестник. – 2011. – № 3, Ч. 1. – С. 12-14.

Literatura

1. Noveishie metody obrabotki izobrazhenii. / By A.A. Potapov - B.: PHIZMATLIB, 2008. – 496s.
2. Uelstid S. Fractals and wavelets for image compressing. - M.: Triumph, 2003 - 320 s.
3. Privezentsev D.G. "Model cifrovogo izobrazheniya s ispolzovaniem system iteriruemyh" // Informacionnye tehnologii modelirovaniya b upravleniya. – 2010. – №6(65) – S. 761-769.
4. Zhiznyakov A.L., Privezentsev D.G. "Fractalnaya model cifrovogo izobrazheniya // Algoritmy, metody I sistemy obrabotki dannyh. – 2010. – No. 15. – s.147-152.
5. Zhiznyakov A.L., Privezentsev D.G. Raspredelenie samopodobiya na cifrovom izobrazhenii // Izvestiya vysshyh uchebnyh zavedenii. Priborostroenie. – 2012. - №2. – s. 37-32
6. Zhiznyakov A.L., Privezentsev D.G. Vydelenie lokalnyh priznakov samopodobiya cifrovogo izobrazheniya // Metody I ustroistva peredachi I obrabotki informacii. – 2010. – №12. – s. 54-58
7. Zhiznyakov A.L., Privezentsev D.G., Fomin A.A. Klassifikaciya izobrazhenii na osnove lokalnyh priznakov samopodobiya // Polzynovskii vestnik. - 2011. - № 3, ch. 1. - S. 12-14.

RESUME

A.L. Zhiznyakov, D.G. Privezentsev, D.Yu. Pazhin

Detection of Atypical Blocks of the Image Using the Self-Similarity Signs

The article discusses an algorithm of forming characteristic segments of digital images using the fractal model. Characteristic parts of the image are image blocks with the largest self-similarity. In other words, the portions, whose properties are similar to the properties of the whole image.

Algorithm for computing the characteristic segments is based on the calculation of the self-similarity for each section of the image. The resulting map is processed by self-similarity threshold operator, thus forming list areas with the greatest self-similarity.

Using specific areas, we propose an algorithm detecting atypical sites. The idea is that objects are not characteristic of the class of images are poorly described by the characteristic sections of the class. The algorithm is block-wise approximation of the characteristic parts of the image. Those blocks that have the greatest error of approximation, are uncharacteristic.

Статья поступила в редакцию 05.04.2013.